

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-85806

(P2003-85806A)

(43) 公開日 平成15年3月20日 (2003.3.20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 1 1 B 7/135		G 1 1 B 7/135	A 2 H 0 8 7
G 0 2 B 13/00		G 0 2 B 13/00	Z 5 D 1 1 9
13/18		13/18	5 D 7 8 9
G 1 1 B 7/125		G 1 1 B 7/125	B
		審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 20 頁)	

(21) 出願番号 特願2001-271452(P2001-271452)

(22) 出願日 平成13年9月7日 (2001.9.7)

(71) 出願人 000000527

ペンタックス株式会社

東京都板橋区前野町2丁目36番9号

(72) 発明者 丸山 晃一

東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光

学工業株式会社内

(74) 代理人 100098235

弁理士 金井 英幸

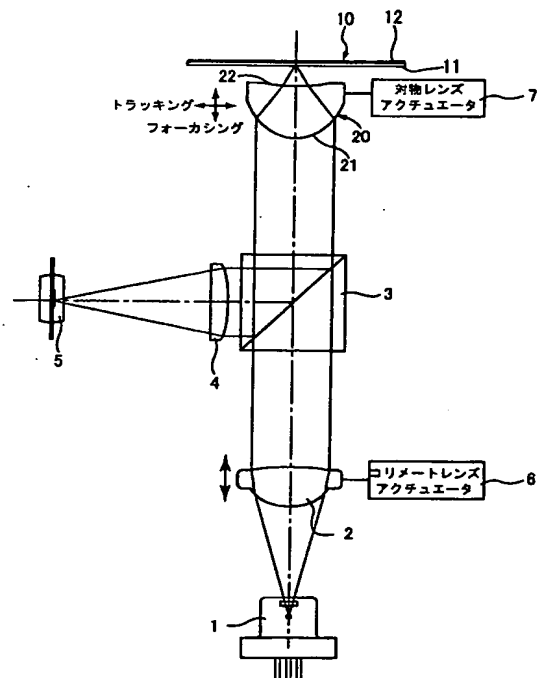
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ヘッド用対物レンズおよびこれを用いた光ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 入射光束の発散収束度を変化させるのみで、保護層の厚さの変化等により発生する球面収差を良好に補正することが可能な光ヘッド用対物レンズを提供することを課題とする。

【解決手段】 対物レンズ10は、入射光束を収束させることにより光ディスク10の透明な保護層11を介して記録面12上にスポットを形成するNA0.70以上の単レンズである。コリメートレンズ2を光軸方向に移動させて対物レンズ20への入射光の発散収束度を変化させることにより、保護層の厚さの変化により発生する球面収差を補正できるようコマ収差の補正状態が設定されている。すなわち、有効開口半径hの6割から9割の間で正弦条件違反量が正の極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少するよう設定されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射光束を収束させることにより光記録媒体の透明な保護層を介して記録面上にスポットを形成する光ヘッド用対物レンズにおいて、NA0.70以上の単レンズであって、入射光の発散収束度の変化による球面収差の変化が、前記保護層の厚さの変化による球面収差の変化とほぼ相似形であり、前記保護層の厚さの変化により発生する球面収差を、入射光の発散収束度の変化により補正できるようコマ収差の補正状態が設定されていることを特徴とする光ヘッド用対物レンズ。

【請求項2】 有効開口半径hの6割から9割の間で正弦条件違反量が正の極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少するようコマ収差の補正状態*

$$-0.37 < \Delta W(1.0) \times \lambda / (f \times m \times NA_{max}^6) < -0.25 \quad \dots(2)$$

【請求項5】 焦点距離をf、前記光記録媒体に対向する第2面の曲率半径をr₂として、以下の条件(3)を満たすことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の光ヘッド用対物レンズ。

$$0.050 < f/r_2 < 0.110 \quad \dots(3)$$

【請求項6】 入射光束を収束させることにより光記録媒体の透明な保護層を介して記録面上にスポットを形成する光ヘッド用対物レンズにおいて、NA0.70以上の単レンズであって、前記対物レンズへの入射光の発散収束度の変化により発生する波面収差が、ほぼ以下の式(4)で表される値OPに比例するようコマ収差の補正状態が設定されていることを特徴とする光ヘッド用対物レンズ。

$$OP = (1 - \sqrt{1 - NA^2}) / n - (n - \sqrt{n^2 - NA^2}) \quad \dots(4)$$

ただし、NAは開口数、nは保護層の屈折率である。

【請求項7】 レーザ光を発する光源部と、該光源部からのレーザ光を光記録媒体の透明な保護層を介して記録面上にスポットを形成する請求項1～6のいずれかに記載の対物レンズと、該対物レンズへの入射光の発散収束度を調整する調整手段とを備えることを特徴とする光ヘッド。

【請求項8】 前記光源部は、発散光を発する半導体レーザーと、該半導体レーザーから発した光束をほぼ平行光にするコリメートレンズとを備え、前記調整手段は、前記半導体レーザーと前記コリメートレンズとの間隔を調整することを特徴とする請求項7に記載の光ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、光ディスク等の光記録媒体に対して情報を記録し、再生する光ヘッドに用いられる対物レンズに関し、特に、情報記録密度の大きな光記録媒体に適用されるNA(開口数)が0.7以上の対物レンズに関する。また、この発明は、このような対物レンズを用いた光ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】 この種の対物レンズのNAは、対象とな

*が設定されていることを特徴とする請求項1に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項3】 入射光束が平行光である場合における正弦条件違反量の極大値をSC_{max}、焦点距離をfとして、以下の条件(1)を満たすことを特徴とする請求項2に記載の光ヘッド用対物レンズ。

$$0.001 < SC_{max} / f < 0.013 \quad \dots(1)$$

【請求項4】 入射光の発散収束度を変化させて球面収差を発生させるとき、有効開口の最も周辺部の波面収差変化量をΔW(1.0)、波長をλ、焦点距離をf、結像倍率(横倍率)をm、有効開口に対応するNAをNA_{max}として、以下の条件(2)を満たすことを特徴とする請求項1に記載の光ヘッド用対物レンズ。

る光記憶媒体の記録密度に応じて設定される。光ディスクとしてCD(コンパクトディスク)を用いる光ヘッドの対物レンズのNAは0.45程度、これより記録密度の大きいDVD(デジタルバーサタイルディスク)を用いる光ヘッドの対物レンズのNAは0.60程度である。

【0003】 CDやDVD用の対物レンズには、一般にプラスチックモールドによって成形された両面非球面単レンズが用いられる。対物レンズは、入射光束を回折限界のスポットとして収束させるため、球面収差を十分に補正する必要がある。また、製造誤差や組立誤差による偏心のマージンを確保するため、コマ収差も補正されている必要がある。このため、従来の両面非球面単レンズである対物レンズは、所定の設計基準状態(一般的には対物レンズに平行光が入射する状態)で球面収差が補正され、かつ、正弦条件を満足するように設計されている。

【0004】 これに対して近時、記録密度をDVDより高めた光ディスクが提案されており、このような光ディスクに対応するためには対物レンズのNAは0.70以上必要となる。しかしながら、NAを高めるために焦点距離を短くすると、単レンズの場合にはレンズ面の曲率がきつくなり、現在の非球面加工技術では精度よく製造することが困難である。

【0005】 そこで、特開平11-190818号公報には、2枚構成とすることにより、個々のレンズ面の曲率を抑えつつ高NAを確保した対物レンズが開示されている。ところが、対物レンズを2枚構成とすると、重量、容積が単レンズの場合より大きくなるため、従来の単レンズ用に設計されたファインアクチュエータ(対物レンズを光軸方向へ駆動してフォーカシングするための機構)を流用することができない。また、2枚のレンズを軸合わせして枠に固定しなければならないので、組立工程数、部品点数が多くなる。さらに、上記の公報に記載された対物レンズの作動距離(レンズ最終面とディスク保護層の表面との間隔)は3.5～50μmとなり、

3

同じ焦点距離を有する単体の対物レンズと比較して極めて小さくなる。

【0006】一方、光ディスクの保護層の厚み誤差は、ディスク基板の作成方法に依存し、現在の技術では厚み誤差を $10\mu\text{m}$ 以下とすることは困難である。例えばDVDの規格では、厚みの公差は $\pm 0.03\text{mm}$ である。ディスクに厚み誤差があると、球面収差が発生し、その発生量はNAが大きくなるほど大きくなる。従来のCD、DVD等を用いるための対物レンズは、NAが比較的小さいため、ディスクの厚み誤差により発生する球面収差の量も比較的小さく、これを補正する手段は不要であった。

【0007】しかしながら、NAが0.7以上になると、 $10\mu\text{m}$ 程度の厚み誤差により発生する球面収差が実用に耐えないほど大きくなり、補正しないとビームスポットを所定の径にまで絞ることができなくなる。そこで、特開2000-131603号公報には、前述の特開平11-190818号公報に開示される2枚構成の対物レンズを利用しつつ、対物レンズと光源との間に正レンズと負レンズとから成る収差補正レンズ群を配置し、正負レンズの間隔を調整することにより対物レンズに入射する光束の発散収束度を変化させ、これにより厚み誤差により発生する球面収差を補正する技術が開示されている。

【0008】一般に、ある発散収束度で入射する光束に対して球面収差が補正された対物レンズを用いると、入射光の発散収束度が変化したときに球面収差が変化する。したがって、ディスクの厚み誤差により球面収差が発生したときに、入射光束の発散収束度を変化させることにより逆方向の球面収差を発生させれば、理論的には球面収差を打ち消しあわせて補正することができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開2000-131603号公報に開示される光学系では、入射光束の発散収束度を変化させることにより発生する球面収差が3次の成分であるのに対し、ディスクの厚み誤差により発生する球面収差がより高次の成分を含むため、これらを完全に打ち消しあわせることができない。そこで、上記公報には、残存収差が許容範囲を超える場合には、対物レンズを構成する2枚のレンズの間隔を変化させることにより高次の球面収差成分を補正することが記載されている。しかし、対物レンズのレンズ間隔を調整するためには、ファインアクチュエータ上に配置される対物レンズ枠に調整機構を付加する必要があり、アクチュエータに対する負担をさらに増加させると共に、調整作業も繁雑になる。

【0010】この発明は、上述した従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、入射光束の発散収束度を変化させるのみで、保護層の厚さの変化等により発生する球面収差を良好に補正することが可能な光ヘッド用対物

4

レンズを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】この発明にかかる光ヘッド用対物レンズは、上記の目的を達成させるため、入射光束を収束させることにより光記録媒体の透明な保護層を介して記録面上にスポットを形成する構成において、NA0.70以上の単レンズであって、入射光の発散収束度の変化による球面収差の変化が、保護層の厚さの変化による球面収差の変化とほぼ相似形であり、保護層の厚さの変化により発生する球面収差を、入射光の発散収束度の変化により補正できるようにコマ収差の補正状態が設定されていることを特徴とする。

10

20

【0012】入射光の発散収束度を変化させることは、軸外の光束については対物レンズの第1面に対する入射角度を変化させることに他ならない。そして、発散収束度の変化により球面収差を変化させることは、入射角度の変化により軸外コマ収差を変化させるのと同値である。したがって、軸外コマ収差に高次の成分を導入してその補正状態を適切に設定すれば、発散収束度の変化により変化する球面収差の形状をコントロールすることができる。

30

【0013】従来のように設計基準状態で球面収差が補正され、正弦条件をほぼ満足するようなレンズでは、保護層の厚さの変化により生じる球面収差と入射光の発散収束度の変化により発生する球面収差との変化の形が異なるため、入射光束の発散収束度を変化させても球面収差を完全に補正することはできなかった。これに対して、上記のようにコマ収差補正のバランスをとり、故意に正弦条件を満たさないよう設定することにより、保護層の厚さの変化により生じる球面収差と入射光の発散収束度の変化による球面収差との形を合わせることができ、入射光の発散収束度の変化によって全系の球面収差を良好に補正することができる。

40

【0014】上記のようなコマ収差の補正状態は、具体的には、有効開口半径 h の6割から9割の間で正弦条件違反量が正の極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少するよう設定することにより実現できる。数値的には、入射光束が平行光である場合における正弦条件違反量の極大値を SC_{\max} 、焦点距離を f として、以下の条件(1)を満たすことが望ましい。

$0.001 < SC_{\max} / f < 0.013 \dots (1)$

【0015】条件(1)を満足し、開口の周辺部の正弦条件が0に近づくように設定すると、保護層の厚さの変化により生じる球面収差を補正しつつ、入射光が平行光である設計基準状態の軸外コマ収差が大きくなり過ぎるのを防ぐことができる。

50

【0016】一方、良好な軸外コマ特性を保ちつつ球面収差を補正するという条件を考えると、1つの焦点距離に対して、入射光の発散収束度の変化に対して発生する球面収差の感度の範囲が限定される。なお、入射光の発

5

散収束度の変化は、光源を物点と考えたときの物体距離の変化に相当し、光源を物点、スポットを像点と考えたときの結像倍率の変化に相当する。結像倍率を変化させて球面収差を発生させるとき、有効開口の最も周辺部の*

$$-0.37 < \Delta W(1.0) \times \lambda / (f \times m \times NA_{ax}^6) < -0.25 \quad \cdots (2)$$

【0017】この条件を外れると、軸外のコマ収差が大きくなるため、偏心に対する許容幅が小さくなりすぎ、光ヘッドを組み立てる際の光軸合わせが難しくなる。

【0018】なお、球面収差を変化させる要因は、上記のディスクの厚み誤差だけではない。例えば、多層記録ディスクを用いる場合には、記録再生の対象となる記録層が変更されれば保護層の厚さも変化し、これがディスクの厚み誤差と同様の球面収差を変化させる。また、対物レンズの成型時の条件や使用時の温度変化により面形状や厚さ、屈折率等が設計値から外れる場合があり、このような誤差によっても球面収差は発生する。多層記録ディスクにおける記録層の変更に対しては、上述したようにディスクの厚さの変化により発生する球面収差が入射光の発散収束度の変化による球面収差と打ち消しあうようにコマ収差の補正状態を設定することにより対処することができる。また、レンズの製造時に発生する各種の誤差についても、入射光の発散収束度を変化させることにより、ほぼ対処することが可能である。このように入射光の発散収束度を変化させる手段を設けることにより、面形状等の誤差に対する許容幅が広がるため、現在の非球面加工技術では精度よく製造することが困難な高NAの単レンズを利用することができる。

【0019】ただし、レンズ製造時の誤差により発生する収差をより良好に補正するためには、これらの誤差、特に、レンズ厚さ、屈折率変化による収差変化の形状が※30

$$\Delta OPD = \Delta t [(1 - \sqrt{(1 - NA^2)}) / n - (n - \sqrt{(n^2 - NA^2)})] / \lambda \quad \cdots (5)$$

【0022】したがって、このような保護層の厚み誤差により発生する波面収差を相殺するためには、対物レンズに発散収束度の変化によって発生する波面収差が式(4)で表される値に比例することが望ましい。

【0023】一方、この発明にかかる光ヘッドは、レーザー光を発する光源部と、光源部からのレーザー光を光記録媒体の透明な保護層を介して記録面上にスポットを形成する上記の対物レンズと、この対物レンズへの入射光の発散収束度を調整する調整手段とを備えることを特徴とする。

【0024】光源部が発散光を発する半導体レーザーと、半導体レーザーから発した光束をほぼ平行光にするコリメートレンズとを備える場合、調整手段は、半導体レーザーとコリメートレンズとの間隔を調整することにより、対物レンズへの入射光の発散収束度を変化させることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかる光ヘッド用対物レンズ、およびこれを備える光ヘッドの実施形態

6

*波面収差変化量を $\Delta W(1.0)$ 、波長を λ 、結像倍率(横倍率)を m 、有効開口に対応するNAを NA_{ax} として、以下の条件(2)を満たすことが望ましい。

※ディスク保護層の厚さ変化による収差とほぼ相似形となることが望ましい。これにより、入射光の発散収束度を変化させることにより、保護層の厚さ変化による収差と共に、レンズ製造時の誤差により発生する収差も補正することができる。そのための条件が以下の条件(3)である。

$$0.050 < f / r_2 < 0.110 \quad \cdots (3)$$

ここで、 r_2 は光記録媒体に対向する第2面の曲率半径である。この条件を満たすことにより、非常に良好な補正効果が得られる。条件(3)を満たさない場合には、低次の球面収差を物体距離変化によって補正しても、高次の球面収差のふくらみを補正しきれずに厚さや屈折率の製造時の誤差に対する許容幅が狭くなるため、製造条件が厳しくなり、あるいは、歩留まりが低下する。

【0020】また、別の表現によれば、この発明にかかる対物レンズは、対物レンズに入射する光束の発散収束度の変化により発生する波面収差が、ほぼ以下の式(4)で表される値OPに比例するようコマ収差の補正状態を設定したことを特徴とする。

$$OP = (1 - \sqrt{(1 - NA^2)}) / n - (n - \sqrt{(n^2 - NA^2)}) \quad \cdots (4)$$

ただし、NAは開口数、nは保護層の屈折率である。

【0021】光ディスクの保護層の厚み誤差 Δt により発生する波面収差 ΔOPD は、波長を λ として以下の式(5)で与えられ、対物レンズのNAが変わらなければ対物レンズの他の設計を変更しても変化しない。

を説明する。最初に、図1に基づいて実施形態の光ヘッドの構成について説明する。実施形態の光ヘッドは、DVD等よりも高密度の光ディスクに対して用いられるものであり、対物レンズのNAは0.70以上、使用するレーザー光は波長405nmの青色光である。

【0026】実施形態の光ヘッドは、図1に示されるように、レーザー光を発する半導体レーザー1と、この半導体レーザーから発する発散光をほぼ平行光にするコリメートレンズ2と、レーザー光を光ディスク10の透明な保護層11を介して記録面12上に収束させる対物レンズ20と、光ディスク10からの戻り光を分離するビームスプリッター3と、分離された戻り光を集光させるコンデンサレンズ4と、集光された戻り光を受光して各種の信号を出力する受光素子5とを備えている。

【0027】半導体レーザー1とコリメートレンズ2とは、レーザー光を発する光源部を構成しており、この光源部から発して対物レンズ20へ入射するレーザー光の発散収束度を調整する調整手段として、コリメートレンズ2を光軸方向に移動させるコリメートレンズアクチュ

エータ6が設けられている。調整手段としては、この例のようにコリメートレンズ2を移動させる手段の他、半導体レーザー1を光軸方向に移動させる手段を採用してもよいし、コリメートレンズ2と対物レンズ20との間に特開2000-131603号公報に開示されるような正レンズと負レンズとから構成されるレンズ群を配置し、これらの正負レンズの間隔を調整するようにしてもよい。

【0028】一方、対物レンズ20は、トラッキング、フォーカシングのために対物レンズアクチュエータ7に搭載されている。この対物レンズ20は、上記のようにNA0.70以上で、第1面21、第2面22の両面が非球面の単レンズであり、保護層11の厚さの変化により発生する球面収差と、入射光の発散収束度の変化により発生する球面収差とが打ち消しあうようコマ収差の補正状態が設定されている。上記のように設定すれば、入射光の発散収束度の変化による球面収差の変化が、保護層11の厚さの変化による球面収差の変化とほぼ相似形*

$$-0.37 < \Delta W(1.0) \times \lambda / (f \times m \times NA_{\max}^6) < -0.25 \quad \dots(2)$$

【0031】さらに、以下の条件(3)を満たすことが望ましい。

$$0.050 < f/r_2 < 0.110 \quad \dots(3)$$

ここで、 r_2 は光記録媒体に対向する第2面の曲率半径である。後述の実施例では、実施例1、2がこの条件(3)を満たし、実施例3～6は満たしていない。これを満たさなくとも実用上問題のない程度に球面収差を補正することはできるが、満たす場合には非常に良好な補正効果が得られ、厚さや屈折率の製造時の誤差に対する許容幅を広くとることができる。

【0032】また、実施形態の対物レンズ20は、対物レンズに入射する光束の発散収束度の変化により発生する波面収差が、ほぼ以下の式(4)で表される値OPに比例するようコマ収差の補正状態が設定されている。

$$OP = (1 - \sqrt{1 - NA^2}) / n - (n - \sqrt{n^2 - NA^2}) \quad \dots(4)$$

【0033】次に、上述した実施形態に基づく具体的な実施例を6例と比較例1例とを提示する。いずれも保護層の厚さが0.1mmの光ディスク10に適用される光ヘッド用の対物レンズである。

【0034】

【実施例1】図2は、実施例1にかかる対物レンズ20と光ディスクの保護層11とを示すレンズ図である。実施例1の対物レンズの具体的な数値構成は表1に示される。表中、 f は焦点距離、 NA は開口数、 r は面の曲率半径(単位: mm)、 d は面間の光軸上の距離(単位: mm)、 n は使用波長405nmにおける屈折率である。面番号1、2がそれぞれ対物レンズ20の第1面21、第2面22、面番号3、4が光ディスク10の保護層11の両面を示している。

【0035】第1面21、第2面22は、共に光軸回りの回転対称な非球面である。非球面の形状は、光軸から

*になる。したがって、保護層11の厚さにばらつきがあった場合にも、それにより発生する球面収差を、コリメートレンズ2の光軸方向の移動により良好に補正することができる。

【0029】上記のようなコマ収差の補正状態を得るため、実施形態の対物レンズ20は、有効開口半径 h の6割から9割の間で正弦条件違反量が正の極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少するよう設定されている。数値的には、入射光束が平行光である場合における正弦条件違反量の極大値を SC_{\max} 、焦点距離を f として、以下の条件(1)を満たす。

$$0.001 < SC_{\max} / f < 0.013 \quad \dots(1)$$

【0030】また、結像倍率を変化させて球面収差を発生させるとき、有効開口の最も周辺部の波面収差変化量を $\Delta W(1.0)$ 、波長を λ 、結像倍率(横倍率)を m 、有効開口に対応する NA を NA_{\max} として、実施形態の対物レンズ20は、以下の条件(2)を満たす。

の高さが h となる非球面上の座標点の非球面の光軸上での接平面からの距離(サグ量)を $X(h)$ 、非球面の光軸上での曲率($1/r$)を C 、円錐係数を K 、4次、6次、8次、10次、12次の非球面係数を $A_4, A_6, A_8, A_{10}, A_{12}$ として、以下の式で表される。これらの係数は表2に示される。

$$X(h) = Ch^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + K)C^2 h^2}) + A_4 h^4 + A_6 h^6 + A_8 h^8 + A_{10} h^{10} + A_{12} h^{12}$$

【0036】

【表1】

面番号	$f=2.350$		$NA0.851$	
	r	d	n	
1	1.735	2.350	1.76050	
2	24.657	0.913		
3	∞	0.100	1.62231	
4	∞			

【0037】

【表2】

	第1面	第2面
κ	-0.3850	0.0000
A_4	1.07300×10^{-04}	5.57000×10^{-03}
A_6	7.14600×10^{-06}	-2.95400×10^{-03}
A_8	-3.65000×10^{-06}	1.11800×10^{-03}
A_{10}	8.84100×10^{-06}	-2.41100×10^{-03}
A_{12}	-2.21700×10^{-06}	2.24700×10^{-04}

【0038】実施例1の対物レンズ20は、物体距離無限(入射光が平行光)、ディスク保護層厚さ0.100mmを設計基準状態としている。図3は、実施例1の対物レンズ20の設計基準状態での収差を示し、(A)が球面収差 SA 、および正弦条件違反量(以下、図中では単に正弦条件と示す) SC を示し、(B)が波面収差を示す。グラフ

(A)の横軸は収差の発生量を示し(単位: mm)、縦軸は開口数NAを示す。グラフ(B)の縦軸は収差の発生量(単位: 波長)、横軸は光軸からの高さを示す。

【0039】図3(A)に示すように、有効開口半径hの8割程度の位置で正弦条件違反量が極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少している。球面収差はほぼ完全に補正されている。また、図3(B)に示すとおり、波面収差の乱れも生じていない。

【0040】実施例1の構成で、光ディスクの保護層11の厚さが+0.030mm変化した場合、入射光の発散収束度が設計基準状態(物体距離無限)のままでは、球面収差は大きくオーバーとなり、有効開口の最も周辺部(NA0.851)の波面収差(マージナル光線の波面収差)の変化 $\Delta W(1.0)$ は -3.82λ 、波面収差のrms(自乗平均平方根)値は 0.308λ に達する。なお、この波面収差の変化は、保護層の厚さの変化のみに起因して発生し、対物レンズのNA、使用波長が変わらなければ対物レンズの設計が変わっても変わらない。

【0041】ここで、コリメートレンズ2を光軸に沿って半導体レーザー1側に移動させることにより対物レンズ20に対する入射光の発散収束度を変化させて収差を補正する。ここでは、物体距離-420mmの発散光を入射させる。対物レンズの結像倍率mは-0.0060倍になる。補正した後の球面収差、正弦条件を図4(A)、波面収差を図4(B)に示す。

【0042】図4(A)に示すように、球面収差は全開口にわたって十分に補正されている。また、補正による有効開口の最も周辺部の波面収差の変化 $\Delta W(1.0)$ は 3.83λ となり、保護層の厚み誤差により発生した波面収差を相殺することができる。その結果、図4(B)に示すように、波面収差は良好に補正される。補正後のrms値波面収差は 0.008λ となる。このように、正弦条件が有効開口半径の8割程度の位置で正の極大を持つ対物レンズを利用すると、入射光の発散収束度を変化させることにより、光ディスクの保護層の厚み誤差により発生した球面収差を良好に補正することができる。

【0043】また、実施例1の対物レンズ20の厚さが製造誤差により0.010mm薄くなった場合には、波面収差は図5(A)に示すように劣化する。有効開口の最も周辺部の波面収差の変化 $\Delta W(1.0)$ は -1.895λ 、rms値波面収差は 0.160λ になり、このままでは光ヘッド用対物レンズとしては利用できない。ここで、コリメートレンズ2を光軸に沿って半導体レーザー1側に移動させることにより対物レンズ20に対して物体距離-830mmの発散光を入射させると、球面収差をほぼ完全に補正することができる。結像倍率mは-0.00283倍になる。補正後の波面収差を図5(B)に示す。この補正により、有効開口の最も周辺部の波面収差 $W(1.0)$ は -0.018λ 、rms値波面収差は 0.007λ となる。

【0044】

【比較例】次に、上記の実施例1とほぼ同様の仕様(焦点距離、NA、曲率半径等)を有し、従来の設計手法で設計された比較例の対物レンズ30について説明する。従来の設計手法とは、設計基準状態で球面収差を完全に補正すると共に、正弦条件をほぼ満足するようにした設計を意味する。図6は、比較例の対物レンズ30と光ディスクの保護層11とを示すレンズ図である。比較例の対物レンズ30の基本的な数値構成を表3に、非球面に関する係数を表4に示す。

10 【0045】

【表3】

f=2.350		NA0.851	
面番号	r	d	n
1	1.741	2.380	1.76050
2	24.984	0.913	
3	∞	0.100	1.62231
4	∞		

【0046】

20 【表4】

	第1面	第2面
κ	-0.6500	0.0000
A4	6.21100×10^{-08}	5.09100×10^{-08}
A6	9.61900×10^{-04}	-2.86700×10^{-02}
A8	1.71600×10^{-04}	9.05300×10^{-03}
A10	5.12800×10^{-06}	-1.57000×10^{-03}
A12	6.18000×10^{-06}	1.15000×10^{-04}

【0047】比較例の対物レンズ30は、物体距離無限(入射光が平行光)、ディスク保護層厚さ0.100mmを設計基準状態としている。図7は、比較例の対物レンズ30の設計基準状態での収差を示し、(A)が球面収差SA、および正弦条件違反量SCを示し、(B)が波面収差を示す。図7(A)に示すように、球面収差が十分に補正されると共に、正弦条件も開口の全域にわたってほぼ満たされている。図7(B)に示すように、波面収差も良好に補正されている。

【0048】比較例の構成で、光ディスクの保護層11の厚さが+0.030mm変化した場合、入射光の発散収束度が設計基準状態(物体距離無限)のままでは、実施例1の場合と同様、有効開口の最も周辺部(NA0.851)の波面収差の変化 $\Delta W(1.0)$ は -3.82λ 、波面収差のrms値は 0.308λ に達する。図8にこの状態での波面収差を示す。

【0049】ここで、実施例1と同様に、物体距離-420mmの発散光を入射させることにより補正を試みる。補正した後の球面収差、正弦条件を図9(A)、波面収差を図9(B)に示す。図9(A)に示すように球面収差は改善されるが、図9(B)に示すように高次の球面収差が残存する。波面収差のrms値は 0.027λ であり、この例で示すような単層の光ディスクには利用することが可能である

11

が、多層記録ディスクを利用する場合や、保護層の厚さが異なる複数の規格の光ディスクを利用する場合には、波面収差が大きくなって所望の収束性能が得られない可能性もある。

【0050】比較例の構成で補正時に波面収差が劣化するの、比較例の対物レンズ30が設計基準状態で正弦条件を満たすよう設計されているため、保護層の厚さの変化により生じる球面収差の形状と、入射光束の発散収束度を変化させることにより生じる球面収差の形状とが異なり、これらを完全に打ち消しあわせることができないことに起因する。

【0051】

【実施例2】次に実施例2の対物レンズについて説明する。実施例2以下では、対物レンズの形状は実施例1の対物レンズ20とほぼ同様であり、図面上は区別がつかないため、レンズ図は省略する。実施例2の対物レンズの基本的な数値構成を表5に、非球面に関する係数を表6に示す。

【0052】

【表5】

f=2.350		NA0.851	
面番号	r	d	n
1	1.753	2.400	1.76250
2	32.977	0.896	
3	∞	0.100	1.62231
4	∞		

【0053】

【表6】

	第1面	第2面
κ	-0.5200	0.0000
A4	3.21090×10^{-03}	6.01370×10^{-03}
A6	6.11800×10^{-04}	-2.80990×10^{-03}
A8	1.42000×10^{-04}	5.51600×10^{-03}
A10	-6.55600×10^{-03}	5.49000×10^{-03}
A12	6.40300×10^{-03}	-1.31000×10^{-04}

【0054】実施例2の対物レンズは、物体距離無限（入射光が平行光）、ディスク保護層厚さ0.100mmを設計基準状態としている。図10は、実施例2の対物レンズの設計基準状態での収差を示し、(A)が球面収差SA、および正弦条件違反量SCを示し、(B)が波面収差を示す。図10(A)に示すように、有効開口半径hの8割程度の位置で正弦条件違反量が極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少している。球面収差はほぼ完全に補正されている。また、図10(B)に示すとおり、波面収差の乱れも生じていない。

【0055】光ディスクの保護層11の厚さが+0.030mm変化した場合、実施例2の構成では、補正後の結像倍率mが-0.00573倍になるよう入射光の発散収束度合いを変化させる。補正した後の球面収差、正弦条件を

12

図11(A)、波面収差を図11(B)に示す。図11(A)に示すように、球面収差は全開口にわたって十分に補正されている。また、補正による有効開口の最も周辺部の波面収差の変化 $\Delta W(1.0)$ は3.73 λ となり、保護層の厚み誤差により発生した波面収差の変化-3.82 λ をほぼ相殺することができる。その結果、図11(B)に示すように、波面収差を良好に補正することができる。補正後のrms値波面収差は0.006 λ となる。

【0056】

【実施例3】実施例3の対物レンズの基本的な数値構成を表7に、非球面に関する係数を表8に示す。

【0057】

【表7】

f=0.587		NA0.851	
面番号	r	d	n
1	0.428	0.629	1.67033
2	-1.992	0.179	
3	∞	0.100	1.62231
4	∞		

【0058】

【表8】

	第1面	第2面
κ	-0.5200	0.0000
A4	1.60491×10^{-01}	5.67812×10^{-00}
A6	5.37045×10^{-01}	-3.92966×10^{-01}
A8	3.17453×10^{-00}	1.38769×10^{-02}
A10	-3.72889×10^{-00}	-1.69072×10^{-02}
A12	4.19709×10^{-01}	-1.45119×10^{-02}

【0059】実施例3の対物レンズは、物体距離無限（入射光が平行光）、ディスク保護層厚さ0.100mmを設計基準状態としている。図12は、実施例3の対物レンズの設計基準状態での収差を示し、(A)が球面収差SA、および正弦条件違反量SCを示し、(B)が波面収差を示す。図12(A)に示すように、有効開口半径hの8割程度の位置で正弦条件違反量が極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少している。球面収差はほぼ完全に補正されている。また、図12(B)に示すとおり、波面収差の乱れも生じていない。

【0060】光ディスクの保護層11の厚さが+0.030mm変化した場合、実施例3の構成では、補正後の結像倍率mが-0.0217倍になるよう入射光の発散収束度合いを変化させる。補正した後の球面収差、正弦条件を図13(A)、波面収差を図13(B)に示す。図13(A)に示すように、球面収差は全開口にわたって十分に補正されている。また、補正による有効開口の最も周辺部の波面収差の変化 $\Delta W(1.0)$ は3.83 λ となり、保護層の厚み誤差により発生した波面収差-3.82 λ をほぼ相殺することができる。その結果、図13(B)に示すように、波面収差を良好に補正することができる。補正後のrms値波

13

面収差は0.010λとなる。

【0061】

【実施例4】実施例4の対物レンズの基本的な数値構成を表9に、非球面に関する係数を表10に示す。

【0062】

【表9】

f=0.587		NA0.851	
面番号	r	d	n
1	0.458	0.644	1.76250
2	-7.582	0.168	
3	∞	0.100	1.62231
4	∞		

【0063】

【表10】

	第1面	第2面
κ	-0.5200	0.0000
A4	1.95500×10^{-01}	4.93340×10^{-00}
A6	5.90739×10^{-01}	-3.66495×10^{-01}
A8	1.92388×10^{-00}	1.01985×10^{-02}
A10	7.66906×10^{-01}	2.07627×10^{-02}
A12	1.86683×10^{-01}	-1.39325×10^{-02}

【0064】実施例4の対物レンズは、物体距離無限（入射光が平行光）、ディスク保護層厚さ0.100mmを設計基準状態としている。図14は、実施例4の対物レンズの設計基準状態での収差を示し、(A)が球面収差SA、および正弦条件違反量SCを示し、(B)が波面収差を示す。図14(A)に示すように、有効開口半径hの9割程度の位置で正弦条件違反量が極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少している。球面収差はほぼ完全に補正されている。また、図14(B)に示すとおり、波面収差の乱れも生じていない。

【0065】光ディスクの保護層11の厚さが+0.030mm変化した場合、実施例4の構成では、補正後の結像倍率mが-0.0226倍になるよう入射光の発散収束度合いを変化させる。補正した後の球面収差、正弦条件を図15(A)、波面収差を図15(B)に示す。図15(A)に示すように、球面収差は全開口にわたって十分に補正されている。また、補正による有効開口の最も周辺部の波面収差の変化ΔW(1.0)は3.62λとなり、保護層の厚み誤差により発生した波面収差-3.82λをほぼ相殺することができる。その結果、図15(B)に示すように、波面収差を良好に補正することができる。補正後のrms値波面収差は0.006λとなる。

【0066】

【実施例5】実施例5の対物レンズの基本的な数値構成を表11に、非球面に関する係数を表12に示す。

【0067】

【表11】

14

f=1.000		NA0.850	
面番号	r	d	n
1	0.743	1.364	1.67033
2	-1.804	0.202	
3	∞	0.100	1.62231
4	∞		

【0068】

【表12】

	第1面	第2面
κ	-0.5200	0.0000
A4	3.58380×10^{-02}	4.79500×10^{-00}
A6	3.81025×10^{-02}	-3.65747×10^{-01}
A8	4.85835×10^{-02}	1.74201×10^{-02}
A10	3.36867×10^{-02}	-4.74031×10^{-02}
A12	5.29857×10^{-02}	5.63992×10^{-02}

【0069】実施例5の対物レンズは、物体距離無限（入射光が平行光）、ディスク保護層厚さ0.100mmを設計基準状態としている。図16は、実施例5の対物レンズの設計基準状態での収差を示し、(A)が球面収差SA、および正弦条件違反量SCを示し、(B)が波面収差を示す。図16(A)に示すように、有効開口半径hの8割程度の位置で正弦条件違反量が極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少している。球面収差はほぼ完全に補正されている。また、図16(B)に示すとおり、波面収差の乱れも生じていない。

【0070】光ディスクの保護層11の厚さが+0.030mm変化した場合、実施例5の構成では、補正後の結像倍率mが-0.0131倍になるよう入射光の発散収束度合いを変化させる。補正した後の球面収差、正弦条件を図17(A)、波面収差を図17(B)に示す。図17(A)に示すように、球面収差は全開口にわたって十分に補正されている。また、補正による有効開口の最も周辺部の波面収差の変化ΔW(1.0)は3.84λとなり、保護層の厚み誤差により発生した波面収差-3.82λをほぼ相殺することができる。その結果、図17(B)に示すように、波面収差を良好に補正することができる。補正後のrms値波面収差は0.013λとなる。

【0071】

【実施例6】実施例6の対物レンズの基本的な数値構成を表13に、非球面に関する係数を表14に示す。

【0072】

【表13】

面番号	15 f=1.000 NA0.800		
	r	d	n
1	0.676	1.326	1.56023
2	-0.967	0.234	
3	∞	0.100	1.62231
4	∞		

【0073】

【表14】

	第1面	第2面
κ	-0.5200	0.0000
A4	2.06448×10^{-03}	5.51772×10^{-03}
A6	3.32397×10^{-03}	-3.88077×10^{-03}
A8	3.80805×10^{-03}	1.85027×10^{-03}
A10	6.37704×10^{-03}	-5.07488×10^{-03}
A12	-6.35130×10^{-03}	6.06055×10^{-03}

【0074】実施例6の対物レンズは、物体距離無限（入射光が平行光）、ディスク保護層厚さ0.100mmを設計基準状態としている。図18は、実施例6の対物レンズの設計基準状態での収差を示し、(A)が球面収差SA、および正弦条件違反量SCを示し、(B)が波面収差を示す。図18(A)に示すように、有効開口半径hの8割程度の位置で正弦条件違反量が極大値を持ち、それより周辺部で正弦条件違反量が単調に減少している。球面収差はほぼ完全に補正されている。また、図18(B)に示すとおり、波面収差の乱れも生じていない。

【0075】光ディスクの保護層11の厚さが+0.030mm変化した場合、実施例6の構成では、補正後の結像倍率mが-0.0127倍になるよう入射光の発散収束度合いを変化させる。補正した後の球面収差、正弦条件を図19(A)、波面収差を図19(B)に示す。図19(A)に示すように、球面収差は全開口にわたって十分に補正されている。また、補正による有効開口の最も周辺部の波面収差の変化 $\Delta W(1.0)$ は 2.75λ となり、保護層の厚み誤差により発生した波面収差 -3.82λ をほぼ相殺することができる。その結果、図19(B)に示すように、波面収差を良好に補正することができる。補正後のrms値波 *

瞳座標	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6
1.0	3.82	3.73	3.83	3.62	3.84	2.75
0.9	2.05	2.00	2.01	1.96	2.03	1.51
0.8	1.12	1.07	1.07	1.06	1.07	0.81
0.7	0.60	0.57	0.58	0.56	0.56	0.44
0.6	0.30	0.29	0.30	0.29	0.29	0.23
0.5	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.11
0.4	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
0.3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

【0079】

*面収差は 0.014λ となる。

【0076】以下の表15は、前述した条件(1)~(3)と、各実施例との関係を示す。実施例1、2は条件(1)、(2)、(3)を全て満たし、軸外コマ収差を小さく抑えつつ、光ディスクの保護層の厚さの変化による球面収差の変化と、レンズ厚や屈折率の誤差による球面収差の変化とを、共に入射光の発散収束度を変化させることにより良好に補正することができる。実施例3~6は、条件(1)、(2)を満たすため、軸外コマ収差を小さく抑えつつ、光ディスクの保護層の厚さの変化による球面収差の変化を入射光の発散収束度を変化させることにより良好に補正することができる。

【表15】

条件	(1)	(2)	(3)
実施例1	0.0038	-0.289	0.095
実施例2	0.0075	-0.295	0.071
実施例3	0.0073	-0.321	-0.295
実施例4	0.0111	-0.291	-0.077
実施例5	0.0053	-0.315	-0.554
実施例6	0.0024	-0.335	-1.034

【0077】また、各実施例の対物レンズの設計データから求められる波面収差の変化量(厚み誤差+0.030mmを補正するための物体距離に設定した場合の値)を表16、各実施例の対物レンズのNAと前記の式(4)に乗じる比例定数 α の値とを表17、式(4)で求められる値に比例定数 α を乗じて求められる波面収差の値を表18、表16と表18とに示される収差量の差を表19にそれぞれ示す。瞳座標は、対物レンズ瞳の最外周の高さ(光軸からの距離)を h_{MAX} 、光線が通る実際の高さを h としたときに、 h/h_{MAX} により求められる比率であり、表16、18は、各瞳座標を通る光線の収差量を示している。

【0078】

【表16】

50 【表17】

17

18

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6
NA	0.851	0.851	0.851	0.851	0.850	0.800
α	74.06	72.13	73.64	70.15	74.33	76.38

【0080】

【表18】

瞳座標	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6
1.0	3.82	3.72	3.80	3.62	3.80	2.72
0.9	2.07	2.01	2.06	1.96	2.06	1.54
0.8	1.12	1.09	1.12	1.06	1.12	0.86
0.7	0.59	0.58	0.59	0.56	0.59	0.46
0.6	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29	0.23
0.5	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.11
0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
0.3	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

【0081】

【表19】

瞳座標	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6
1.0	0.00	0.01	0.04	0.00	0.04	0.03
0.9	-0.01	-0.01	-0.04	0.00	-0.03	-0.03
0.8	0.00	-0.02	-0.04	0.00	-0.05	-0.04
0.7	0.01	-0.01	-0.01	0.01	-0.03	-0.02
0.6	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
0.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
0.4	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

【0082】設計データから計算された実際の波面収差 30
に対し、式(4)に適切な比例定数を乗じることにより得
られる波面収差の値の誤差は最大で約5%である。すな
わち、入射光の発散収束度の変化により発生する波面収
差が式(4)で示される値に比例するよう対物レンズを設
計することにより、実施例に示したものとほぼ同様の対
物レンズを得ることができ、これにより、光ディスクの
保護層の厚み誤差により発生する波面収差を良好に補正
することが可能となる。

【0083】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれ 40
ば、設計基準状態でのコマ収差の補正状態を適切に設定
することにより、光ディスクの保護層の厚さ変化やレン
ズ厚さや屈折率誤差等に起因する球面収差の変化を、対
物レンズに入射する光束の発散収束度合いを変化させる
ことにより補正することができる。また、入射光の発散
収束度を変化させる手段を設けることにより、面形状等
の誤差に対する許容幅が広がるため、加工の難しい高N
Aの対物レンズを単レンズで構成することができ、従来
の2枚構成の対物レンズと比較するとレンズの重量、容
積を削減し、ファインアクチュエータの負担を軽減する 50

と共に、十分な作動距離を確保することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態にかかる光ヘッドの構成を概念的に
示す説明図である。

【図2】 実施例1にかかる対物レンズと光ディスクの
保護層とを示すレンズ図である。

【図3】 実施例1にかかる対物レンズの設計基準状態
における収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示す
グラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図4】 実施例1の対物レンズを利用した光学系で保
護層の厚さの+0.030mmの変化を入射光の発散収
束度を変化させて補正した際の収差を示し、(A)は球面
収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグ
ラフである。

【図5】 実施例1の対物レンズを利用した光学系の波
面収差を示し、(A)はレンズ厚が-0.010mm変化
した際の波面収差を示すグラフ、(B)はこれを入射光の
発散収束度を変化させて補正した際の波面収差を示すグ
ラフである。

【図6】 比較例の対物レンズと光ディスクの保護層と
を示すレンズ図である。

19

【図7】 比較例の対物レンズの設計基準状態における収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図8】 比較例の対物レンズを利用した光学系で保護層の厚さが+0.030mm変化した場合の波面収差を示すグラフである。

【図9】 比較例の対物レンズを利用した光学系で保護層の厚さの+0.030mmの変化を入射光の発散収束度を変化させて補正した際の収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図10】 実施例2にかかる対物レンズの設計基準状態における収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図11】 実施例2の対物レンズを利用した光学系で保護層の厚さの+0.030mmの変化を入射光の発散収束度を変化させて補正した際の収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図12】 実施例3にかかる対物レンズの設計基準状態における収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図13】 実施例3の対物レンズを利用した光学系で保護層の厚さの+0.030mmの変化を入射光の発散収束度を変化させて補正した際の収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図14】 実施例4にかかる対物レンズの設計基準状態における収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図15】 実施例4の対物レンズを利用した光学系で保護層の厚さの+0.030mmの変化を入射光の発散

20

収束度を変化させて補正した際の収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図16】 実施例5にかかる対物レンズの設計基準状態における収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図17】 実施例5の対物レンズを利用した光学系で保護層の厚さの+0.030mmの変化を入射光の発散収束度を変化させて補正した際の収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

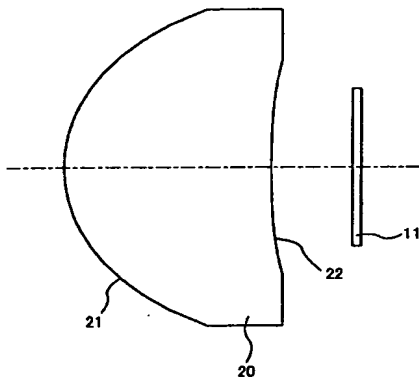
【図18】 実施例6にかかる対物レンズの設計基準状態における収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

【図19】 実施例6の対物レンズを利用した光学系で保護層の厚さの+0.030mmの変化を入射光の発散収束度を変化させて補正した際の収差を示し、(A)は球面収差、正弦条件を示すグラフ、(B)は波面収差を示すグラフである。

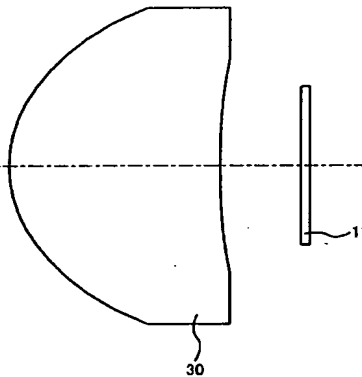
20 【符号の説明】

- 1 半導体レーザー
- 2 コリメートレンズ
- 3 ビームスプリッター
- 6 コリメートレンズアクチュエータ
- 7 対物レンズアクチュエータ
- 10 光ディスク
- 11 保護層
- 12 記録面
- 20 対物レンズ
- 21 第1面
- 22 第2面

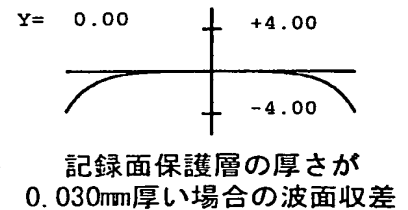
【図2】



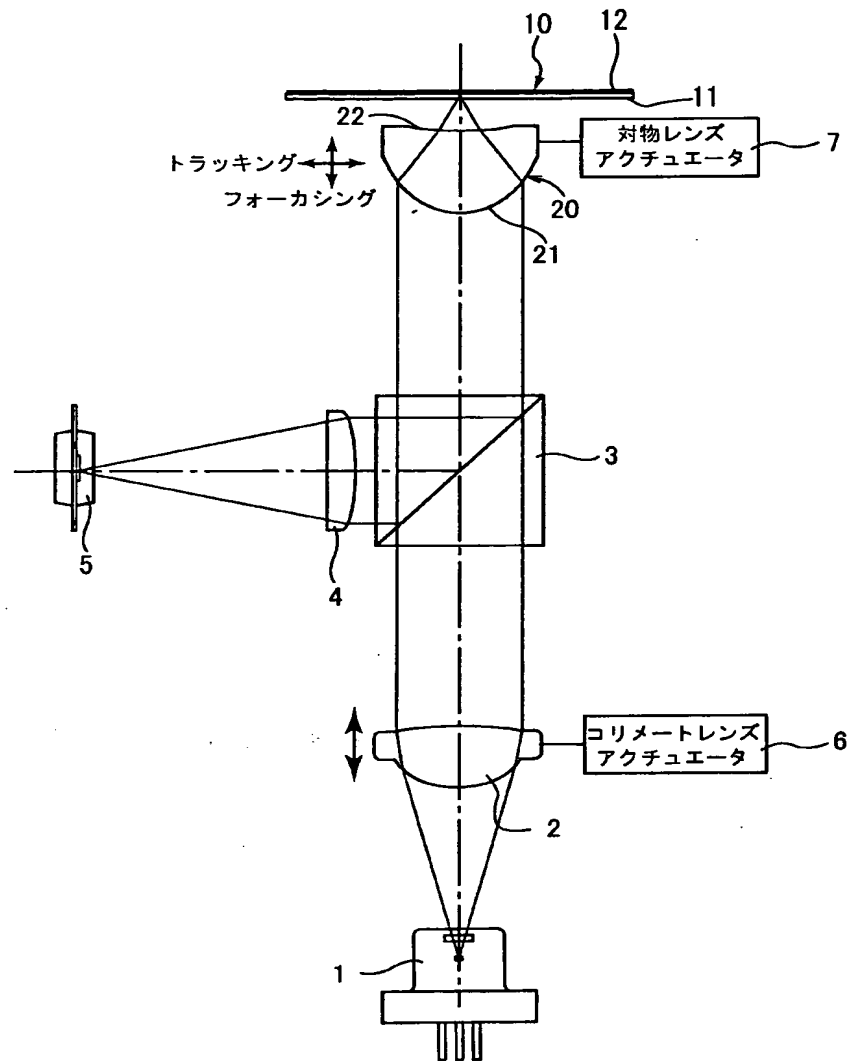
【図6】



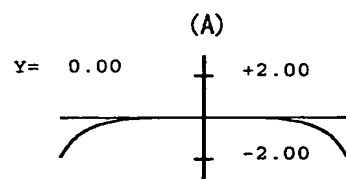
【図8】



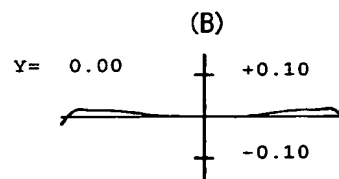
【図1】



【図5】

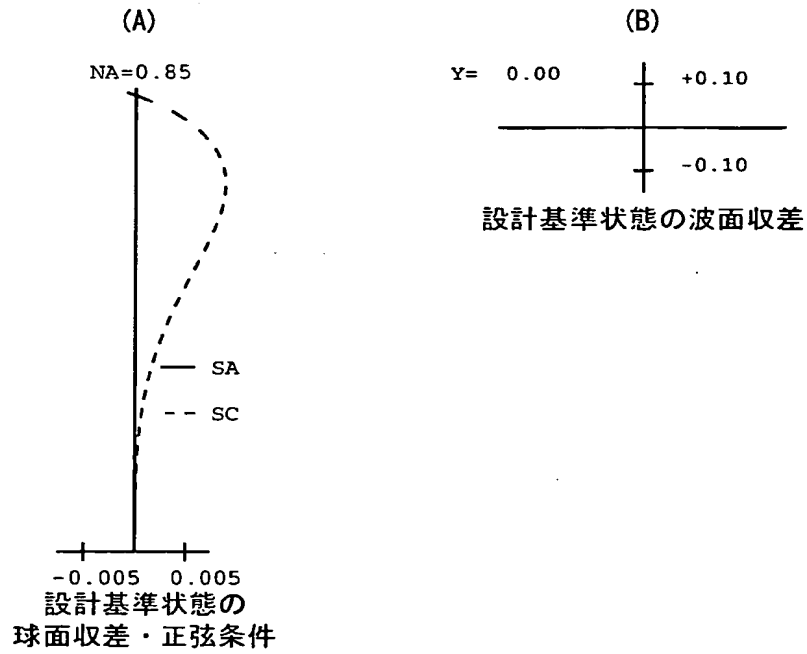


レンズ厚さ-0.010mmの場合の
波面収差

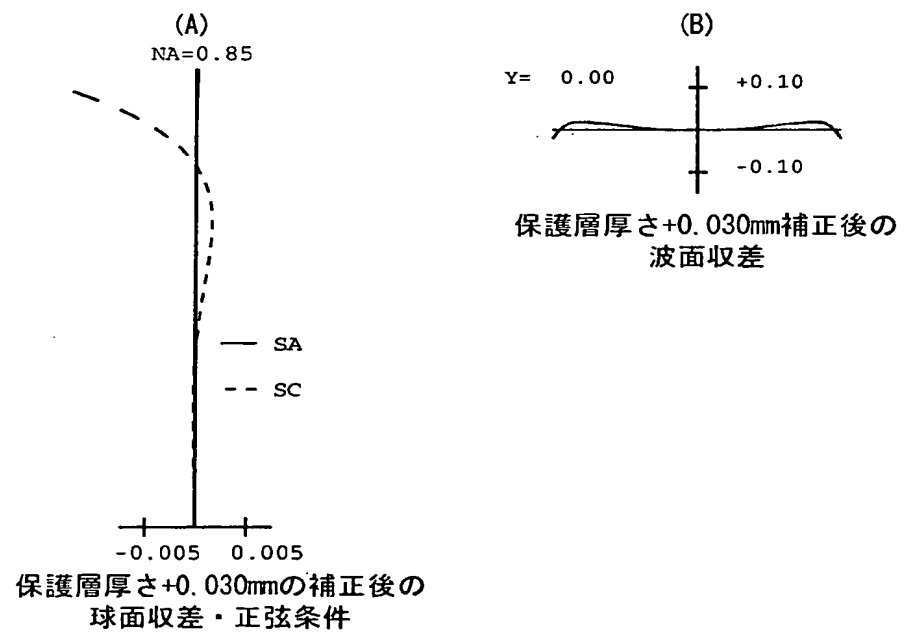


レンズ厚さ-0.010mmの補正後の
波面収差

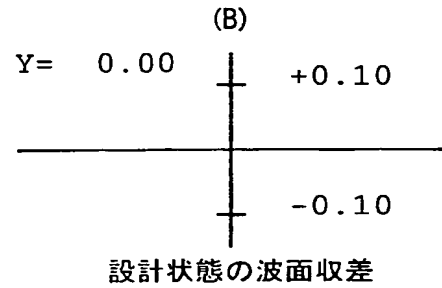
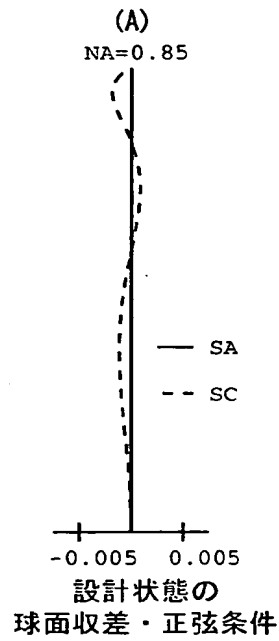
【図3】



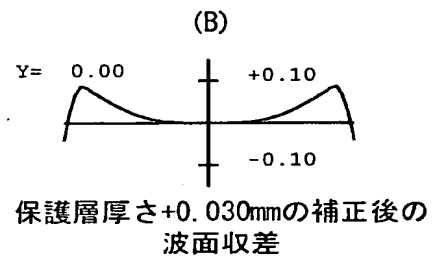
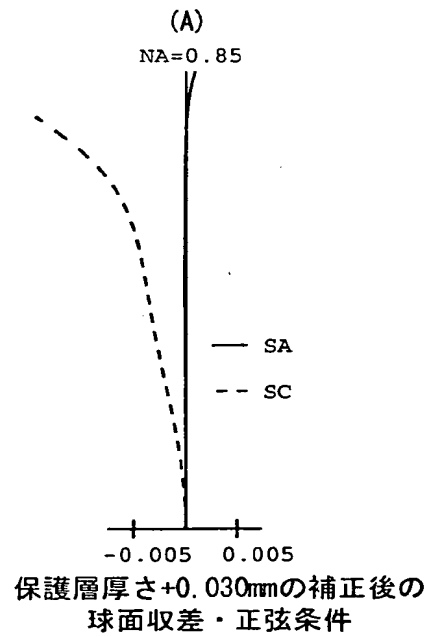
【図4】



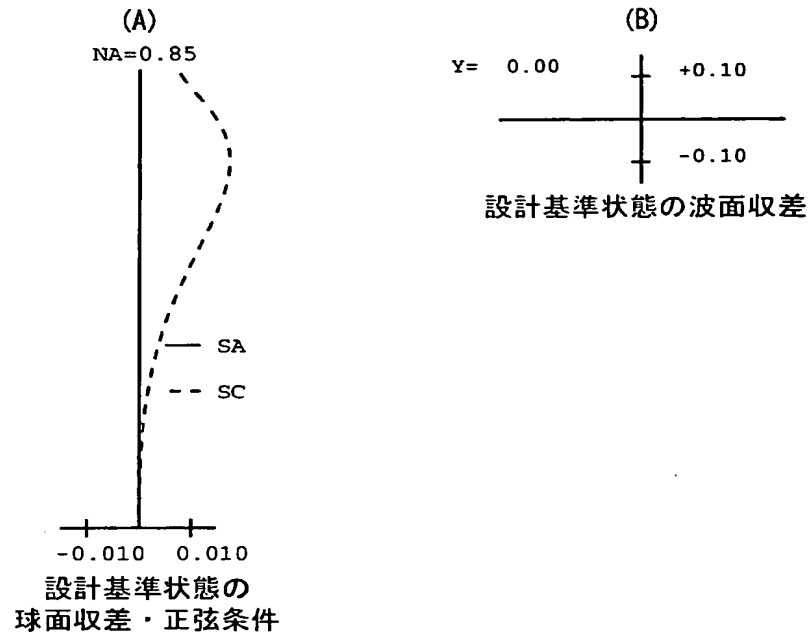
【図7】



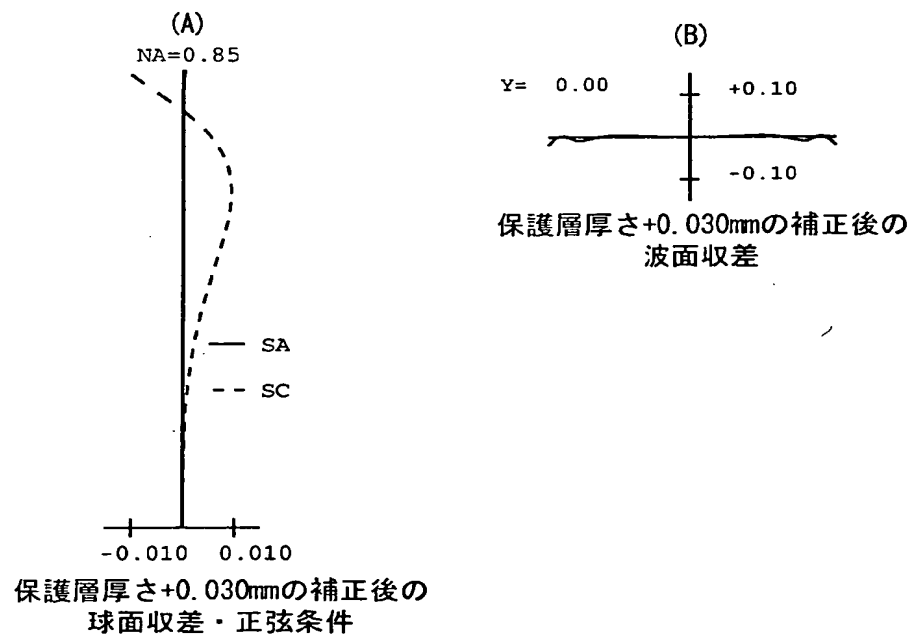
【図9】



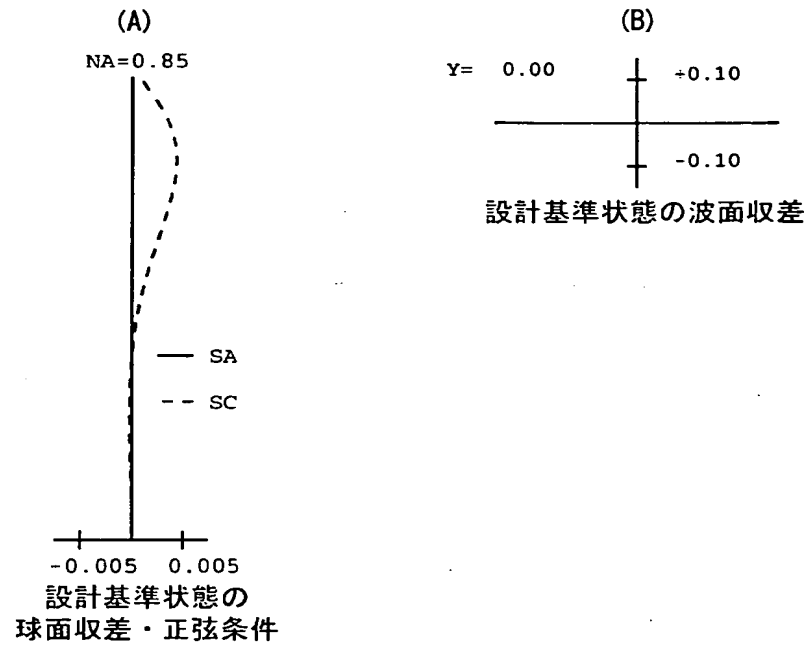
【図10】



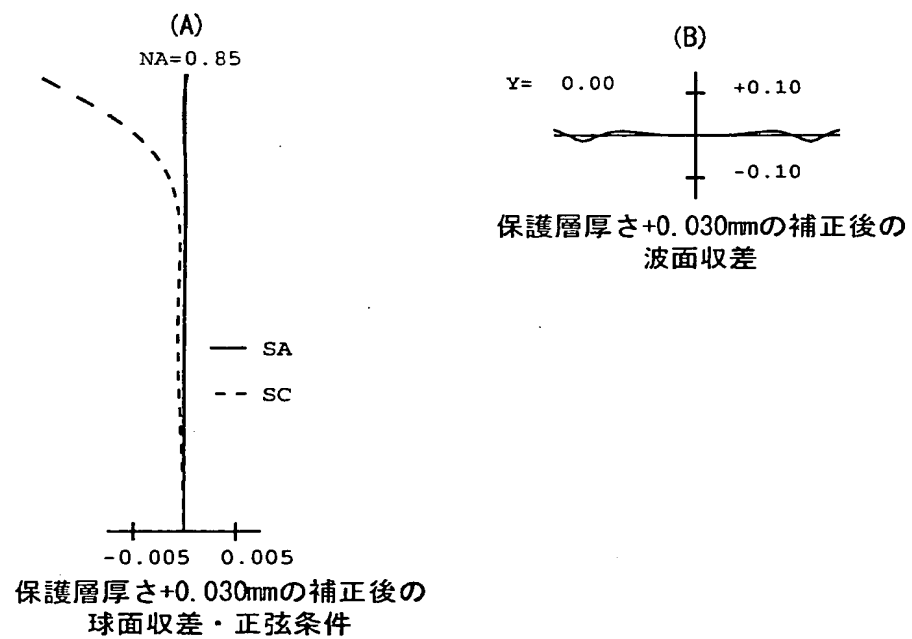
【図11】



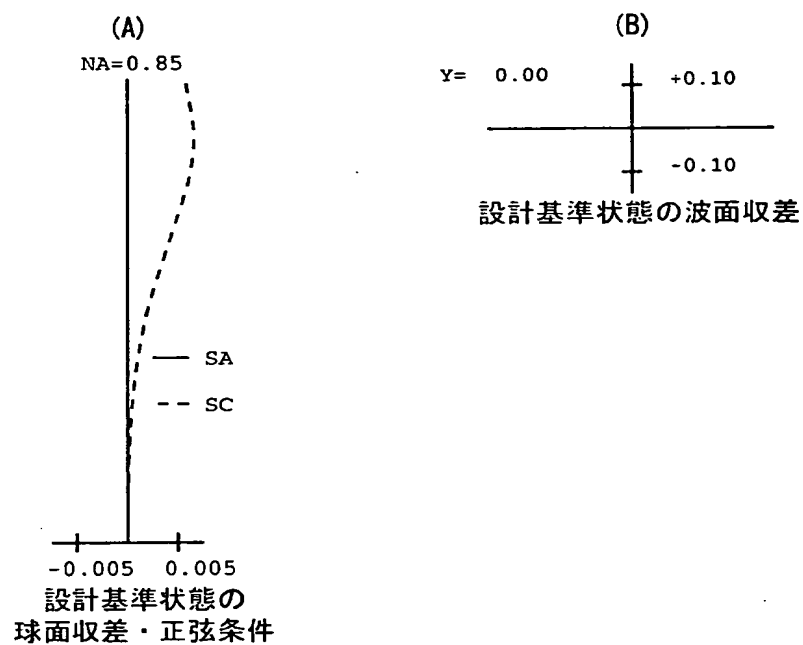
【図12】



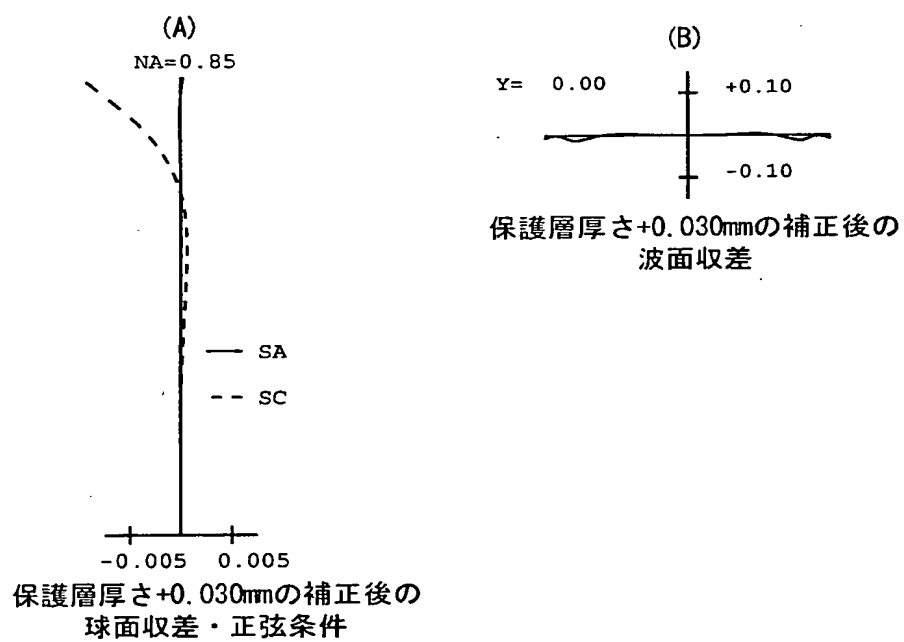
【図13】



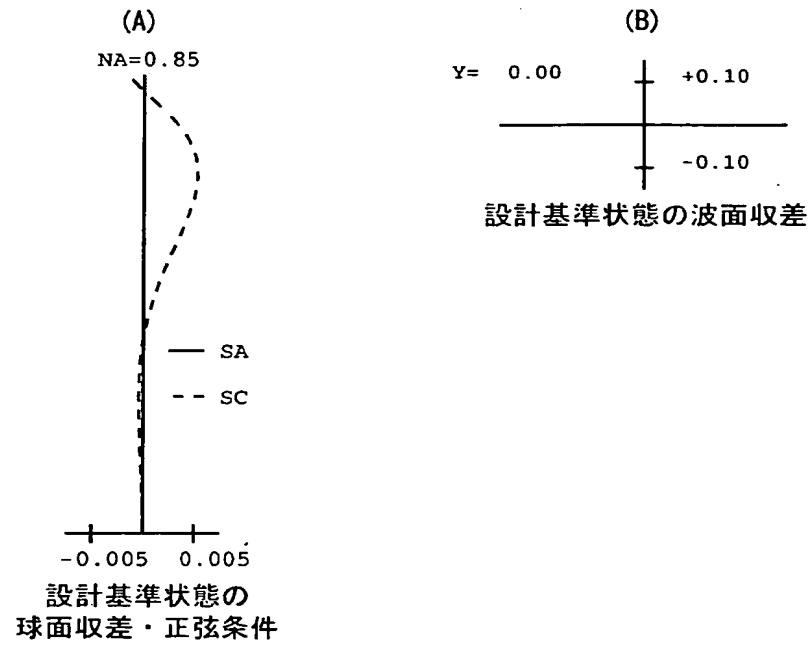
【図14】



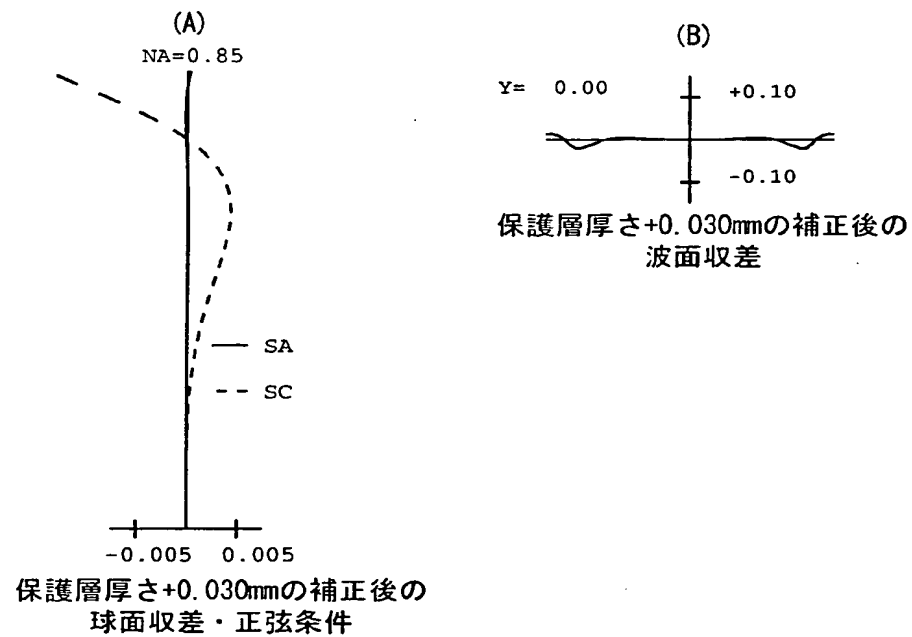
【図15】



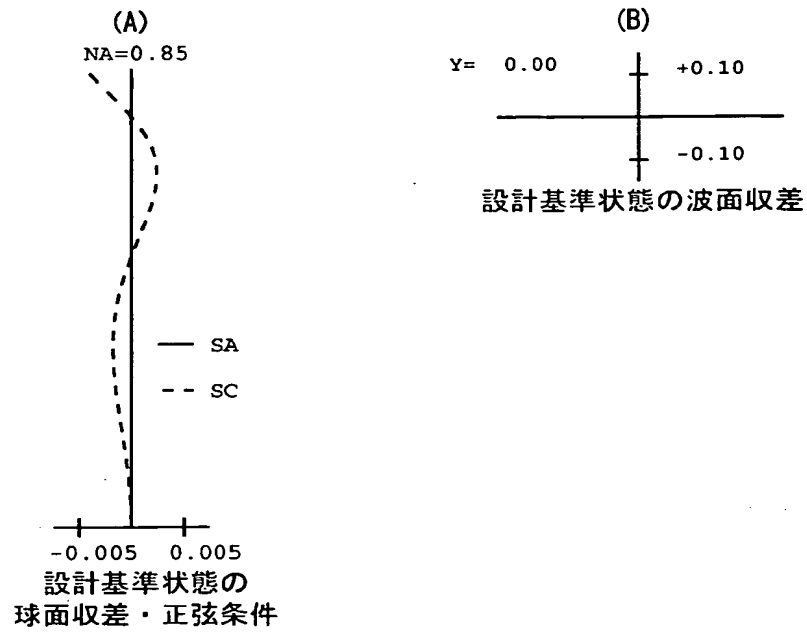
【図16】



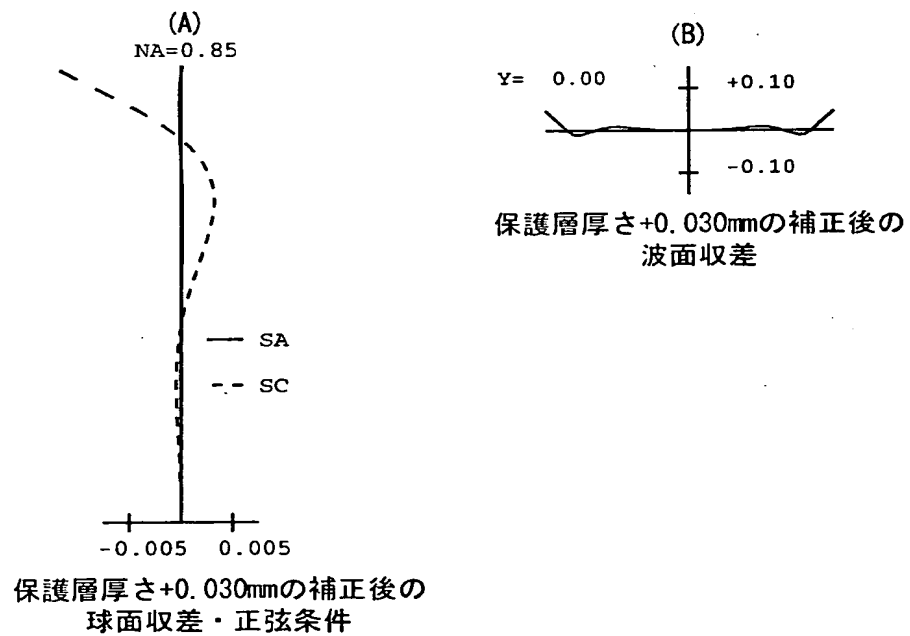
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA13 LA01 PA01 PA17 PB01
QA01 QA06 QA07 QA12 QA14
QA32 QA34 RA05 RA12 RA13
RA42
5D119 AA11 AA22 AA43 BA01 DA01
DA05 EB02 EB03 EC04 JA43
JB01 JB02 JB06
5D789 AA11 AA22 AA43 BA01 DA01
DA05 EB02 EB03 EC04 JA43
JB01 JB02 JB06